

SISTEMAS BIOINSPIRADOS

MAGÍSTER EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

JULIO-AGOSTO 2022

PROFESOR: RICARDO CONTRERAS A.



SWARM INTELLIGENCE

INTELIGENCIA DE ENJAMBRE



CONSIDERACIONES GENERALES

EJEMPLOS CON INSECTOS DEL MUNDO REAL



PROBLEMAS

- Los sistemas de enjambre son difíciles de ‘programar’ ya que los problemas son a menudo difíciles de definir
 - Las soluciones son emergentes en los sistemas
 - Las soluciones son el resultado del comportamiento y las interacciones entre agentes individuales

SOLUCIONES POSIBLES PARA CREAR SISTEMAS CON INTELIGENCIA DE ENJAMBRE

- Crear un catálogo de comportamientos colectivos 😊
- Modelar cómo insectos sociales realizan tareas colectivamente
 - Usar el modelo como base para desarrollar alternativas de uso de la IA
 - Los parámetros de un modelo pueden ser “ajustados” dentro de un “rango biológico relevante” o incluso agregando factores no biológicos al modelo

¿QUÉ ES SWARM INTELLIGENCE?

- Swarm Intelligence es la interacción local de muchos agentes simples para alcanzar una meta global
 - Emergencia
 - El comportamiento global único es consecuencia (surge de) la interacción entre muchos agentes
 - Stigmergy
 - Comunicación indirecta
 - Generalmente a través del ambiente

PROPIEDADES DE SWARM INTELLIGENCE (INTELIGENCIA COLECTIVA)

- Agentes deben ser simples
- Comunicación indirecta entre agentes
- El comportamiento global puede ser emergente
 - No se necesita una programación local específica
- Comportamientos son robustos
 - Se requiere en el caso de ambientes impredecibles
- Los individuos no son importantes

EL EJEMPLO TÍPICO

La búsqueda de alimento por parte de las hormigas exhibe inteligencia de enjambre



INGREDIENTES DE AUTOORGANIZACION

- Feedback Positivo
- Feedback Negativo
- Amplificación de Fluctuaciones - aleatoriedad
- Dependencia de múltiples interacciones

FEEDBACK POSITIVO

El feedback positivo refuerza las buenas soluciones

- Las hormigas son capaces de atraer más ayuda cuando encuentran una fuente de alimentos
- A mayor cantidad de hormigas en un camino, aumenta el nivel de feromona y atrae aún más hormigas

FEEDBACK NEGATIVO

El feedback negative elimina las soluciones malas (o antiguas) de la memoria colectiva

- Decaimiento de la feromona
- Las fuentes de alimento distantes son las últimas en ser exploradas
 - La feromona tiene menos tiempo para deacer en soluciones cercanas

ALEATORIEDAD

La aleatoriedad permite el surgimiento de nuevas soluciones

- Las decisiones de las hormigas son aleatorias
 - Probabilidad de exploración
- Las fuentes de comida son encontradas aleatoriamente

INTERACCIONES MULTIPLES

Solamente a través de las interacciones de muchos individuos es posible encontrar una solución

- Una sola hormiga no puede buscar comida, la feromona decae muy rápido
- Se requieren muchas hormigas para mantener un rastro de feromona
- Más comida puede encontrarse más rápidamente

EN RESUMEN (SWARM INTELLIGENCE)

- Es adecuado para encontrar soluciones que no requieren un control preciso respecto de cómo se alcanza el objetivo
- Necesita un número grande de agentes
- Los agentes pueden ser muy simples
- Los comportamientos son robustos

PROPIEDADES DE LA AUTO-ORGANIZACIÓN

- Creación de estructuras
 - Nidos, búsqueda de caminos, u organización social
- Cambios resultan de la existencia de múltiples caminos de desarrollo
 - Fases coordinadas & no coordinadas
- Posible coexistencia de multiples estados estables
 - Dos fuentes de alimentos iguales

TIPOS DE INTERACCION PARA INSECTOS SOCIALES

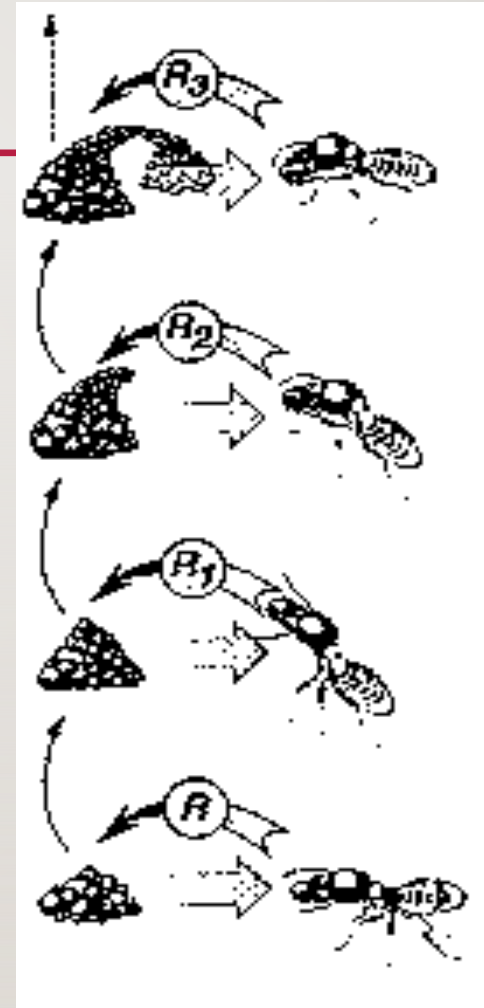
- Interacciones Directas
 - Intercambio de alimentos/líquidos, contacto visual, contacto químico (feromonas)
- Interacciones Indirectas (Stigmergy)
 - El comportamiento individual modifica el ambiente, el que a su vez modifica el comportamiento de otros individuos

STIGMERGY

- Es un mecanismo de coordinación indirecta, a través del ambiente, entre agentes o acciones
- El principio de este concepto quiere decir que la traza dejada en el ambiente por una acción individual, estimula la realización de una acción exitosa, por el mismo agente, o uno diferente
- Agentes que responden a las trazas en el ambiente refuerzan esos comportamientos

EJEMPLO DE STIGMERGY

- Construcción de pilares por termitas



HORMIGAS, UNA MIRADA MAS CERCANA

- Ejemplos de insectos en el mundo real
- Teoría de Swarm Intelligence
- De insectos a algoritmos IA realistas
- Ejemplos de aplicaciones IA

INSECTOS SOCIALES

- Los beneficios de la inteligencia de enjambre para la solución de problemas incluyen como características importantes el ser:
 - Flexibles
 - Robustos
 - Descentralizados
 - Auto-Organizados

ABEJAS



ABEJAS

- Cooperación de la colonia
- Regulación de la temperatura de la colmena
- Eficiencia a través de la especialización: división del trabajo en la colonia
- Comunicación : Fuentes de alimentos son explotadas de acuerdo a su calidad y distancia de la colmena

AVISPAS



AVISPAS

- Recolectoras de pulpa, recolectoras de agua & constructoras
- Nidos complejos
 - Columnas horizontales
 - Coberturas protectoras
 - Chimenea para la entrada principal

TERMITAS



TERMITAS

- Paredes exteriores en forma de cono y ductos de ventilación
- Cámaras de crianza en la colmena central
- Respiraderos de enfriamiento en espiral
- Pilares de apoyo

HORMIGAS



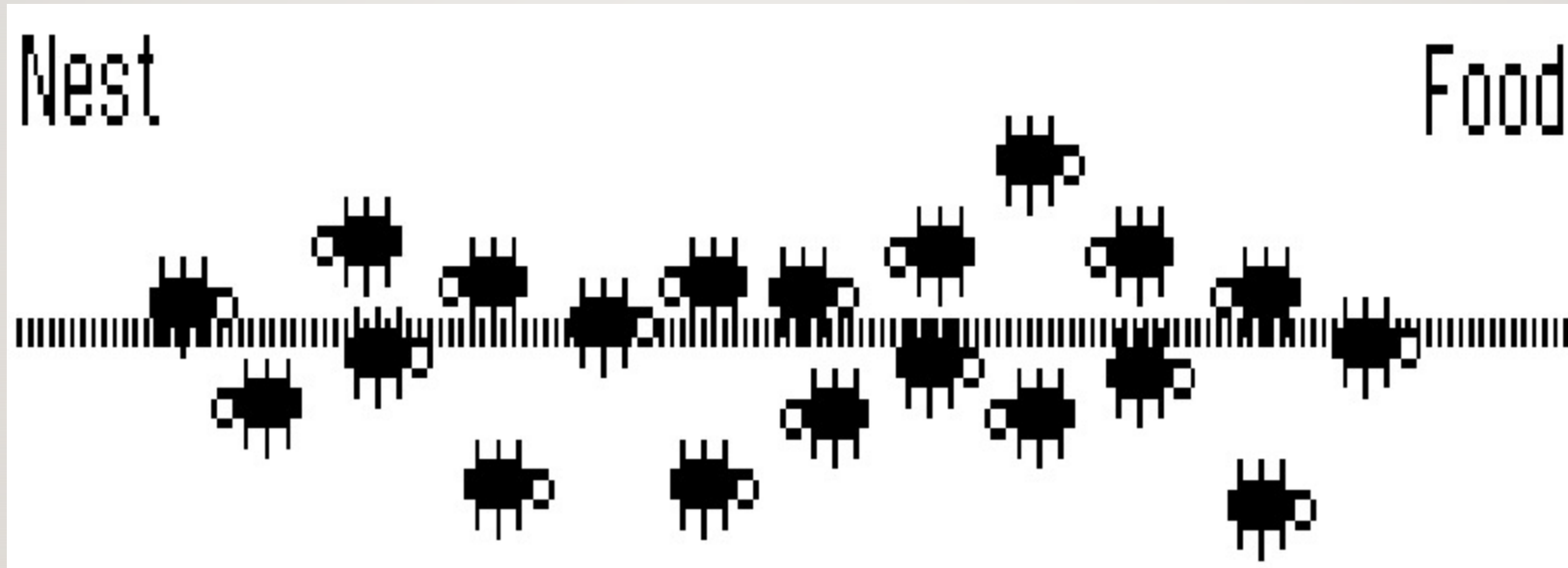
HORMIGAS

- Organización de caminos hacia y desde los sitios con alimentos dejando rastros de feromona
- Forman cadenas con sus cuerpos para crear puentes y recogen hojas manteniéndolas juntas
- División del trabajo entre hormigas mayores y hormigas jóvenes

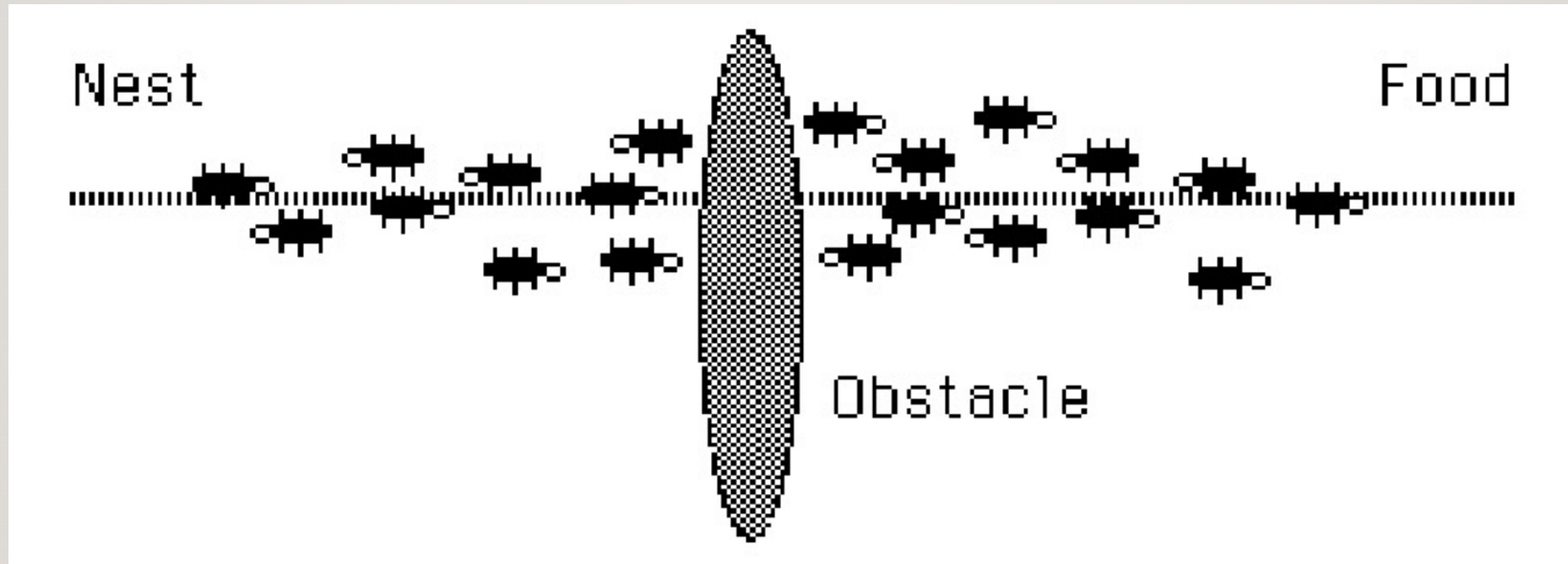
RESUMEN DE INSECTOS

- La complejidad y sofisticación de la Auto-Organización se lleva a cabo sin un líder claro
- Lo que aprendemos de los insectos sociales puede ser aplicado al campo del Diseño de Sistemas Inteligentes
- El modelamiento de los insectos sociales y su Auto-Organización puede ayudar a diseñar dispositivos distribuidos para la solución de problemas. Esto es lo que también se conoce como Sistemas de Swarm Intelligence

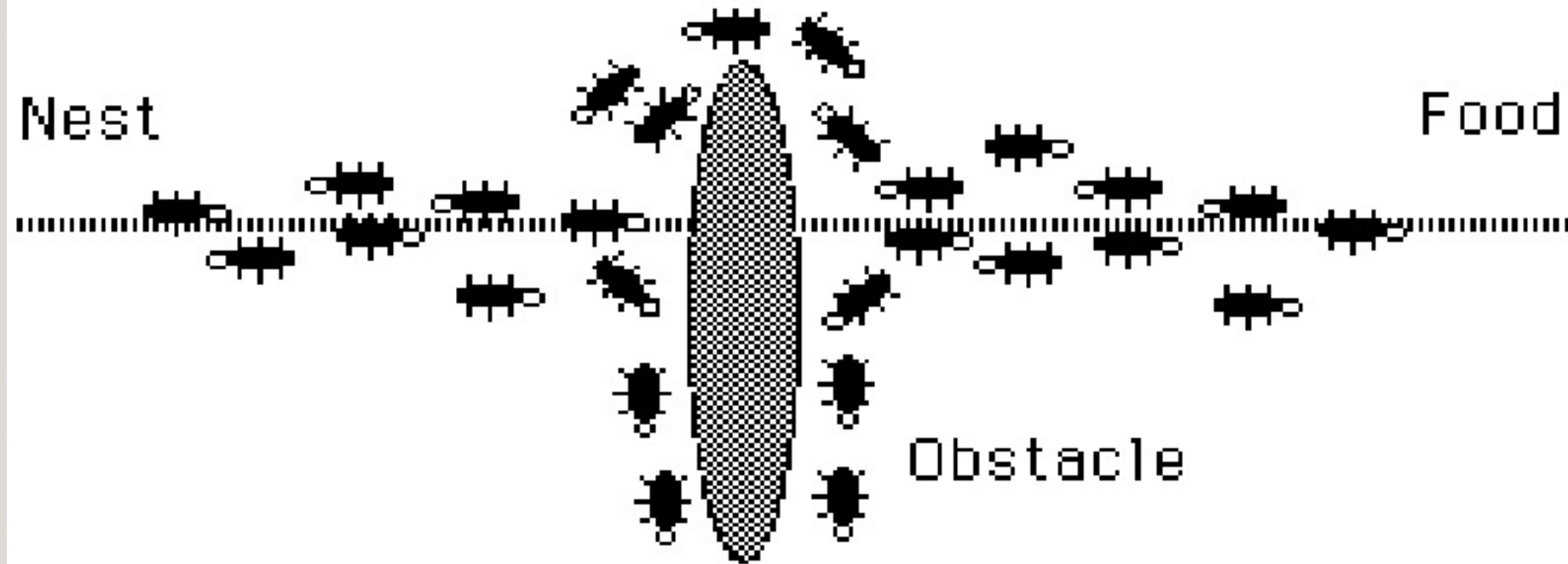
UNA MIRADA AL COMPORTAMIENTO DE LAS HORMIGAS REALES



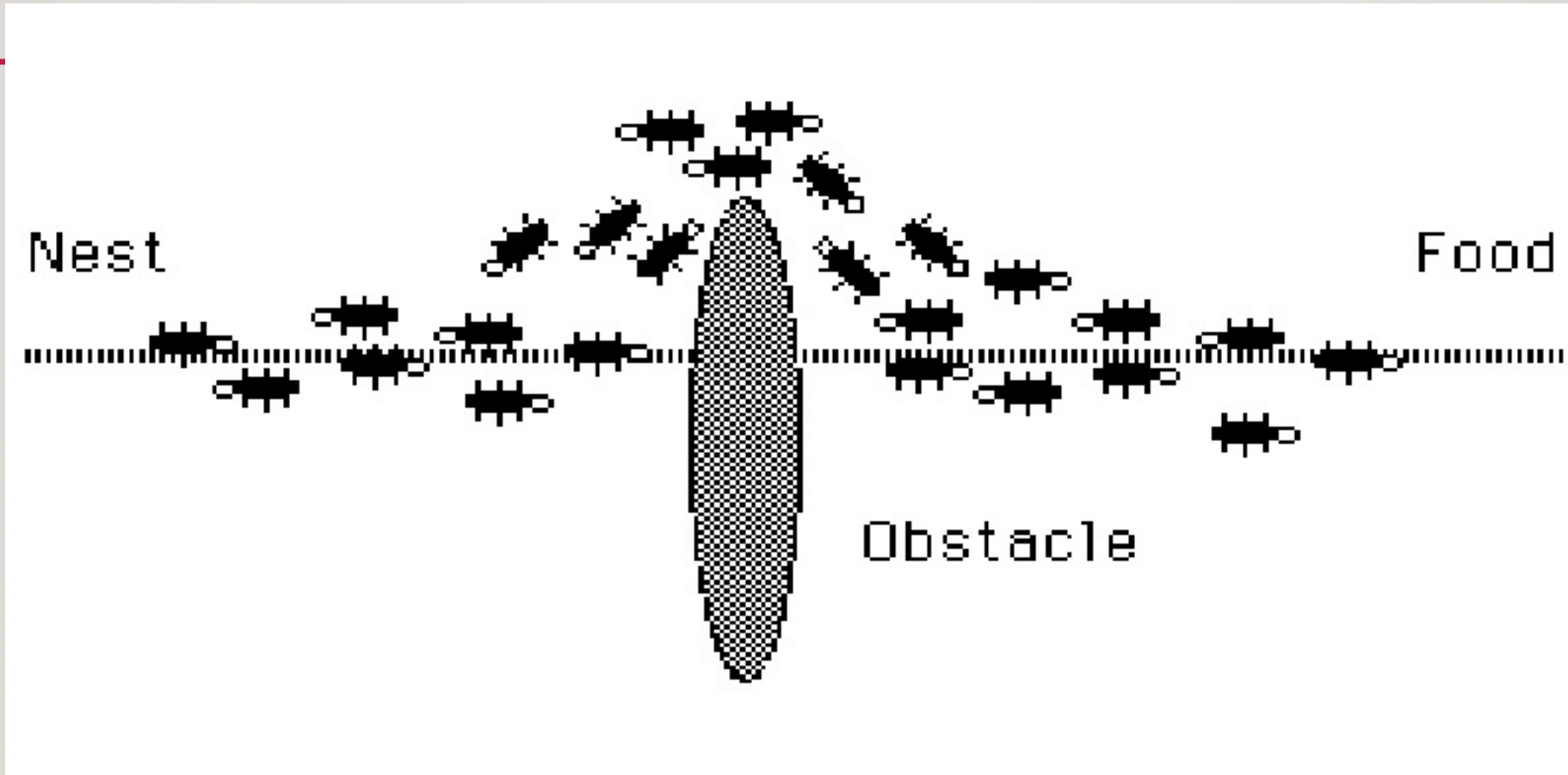
INTERRUPCION DEL FLUJO



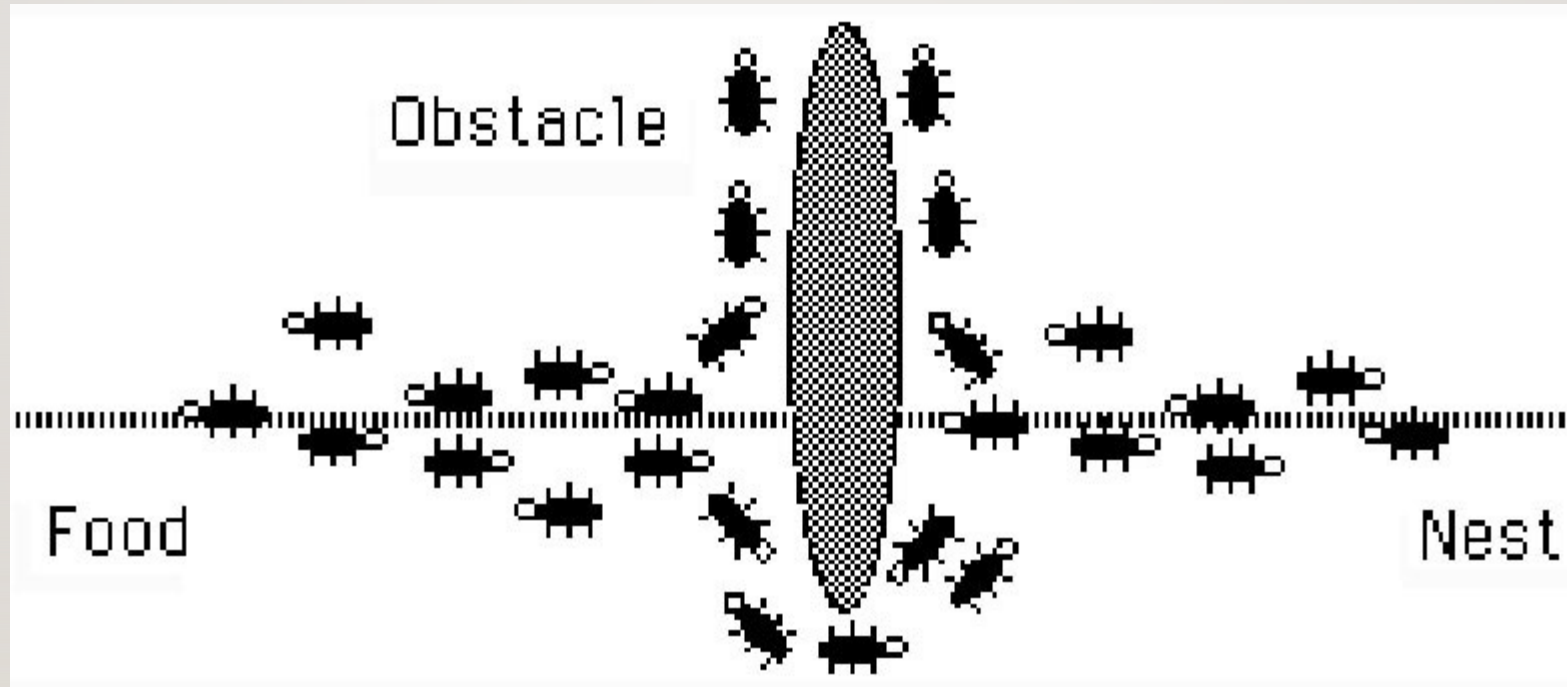
¡LAS TRAYECTORIAS SE ALTERAN!



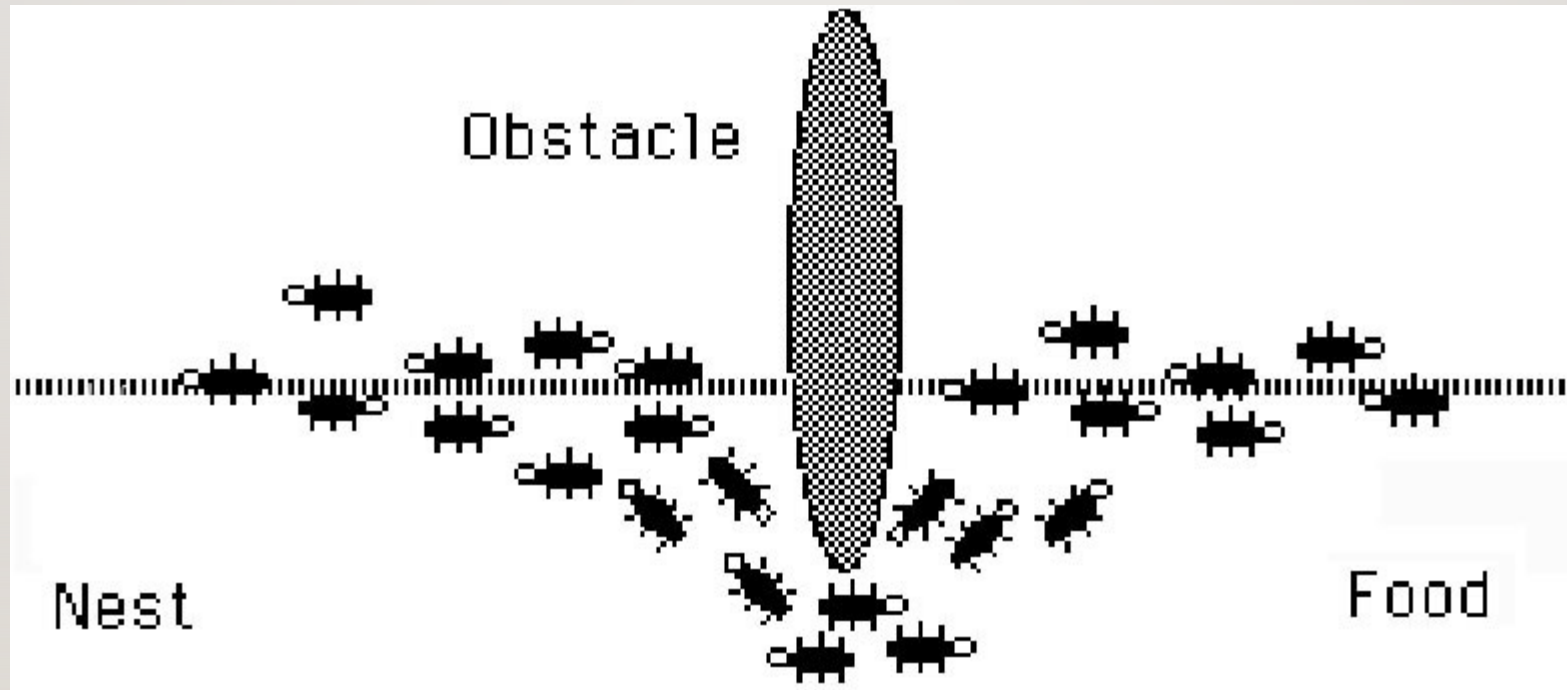
Y SE GENERA UNA NUEVA RUTA **MÁS CORTA**



LO QUE CORRESPONDE A UN COMPORTAMIENTO ADAPTATIVO



ADAPTÁNDOSE A LOS CAMBIOS EN EL AMBIENTE



HORMIGAS \equiv AGENTES

- Stigmergy puede ser operacional
 - Coordinación por interacciones indirectas es más atractiva que la comunicación directa
- Stigmergy reduce (o elimina) las comunicaciones entre agentes

DE INSECTOS A ALGORITMOS DE IA REALISTAS



DE HORMIGAS A ALGORITMOS

- La información en la inteligencia de enjambre nos permite modelar:
 - Solución de problemas
 - Algoritmos
 - Aplicaciones del mundo real

MODELAMIENTO

- Observar el fenómeno
- Crear un modelo con inspiración biológica
- Explorar el modelo sin restricciones

MODELAMIENTO (CONTINUACIÓN)

- Crea una version simplificada de la realidad
- Los elementos cuantitativos observables se transforman en variables del modelo
- Otras variables (no visibles de manera destacada) constituyen conexiones

UN BUEN MODELO TIENE...

- Parsimonia (simplicidad)
- Coherencia
- Refutabilidad
- Los valores de los parámetros corresponden a valores de sus contrapartes naturales

PROBLEMA DEL VENDEDOR VIAJERO

Inicializar

Loop /* a este nivel cada loop es una iteración */

Cada hormiga se posiciona en un nodo de partida.

Loop /* a este nivel cada loop es un paso */

Cada hormiga aplica una regla de transición de estados para construir, incrementalmente una solución
y una regla de actualización de la feromona

Hasta que todas las hormigas hayan construido una solución

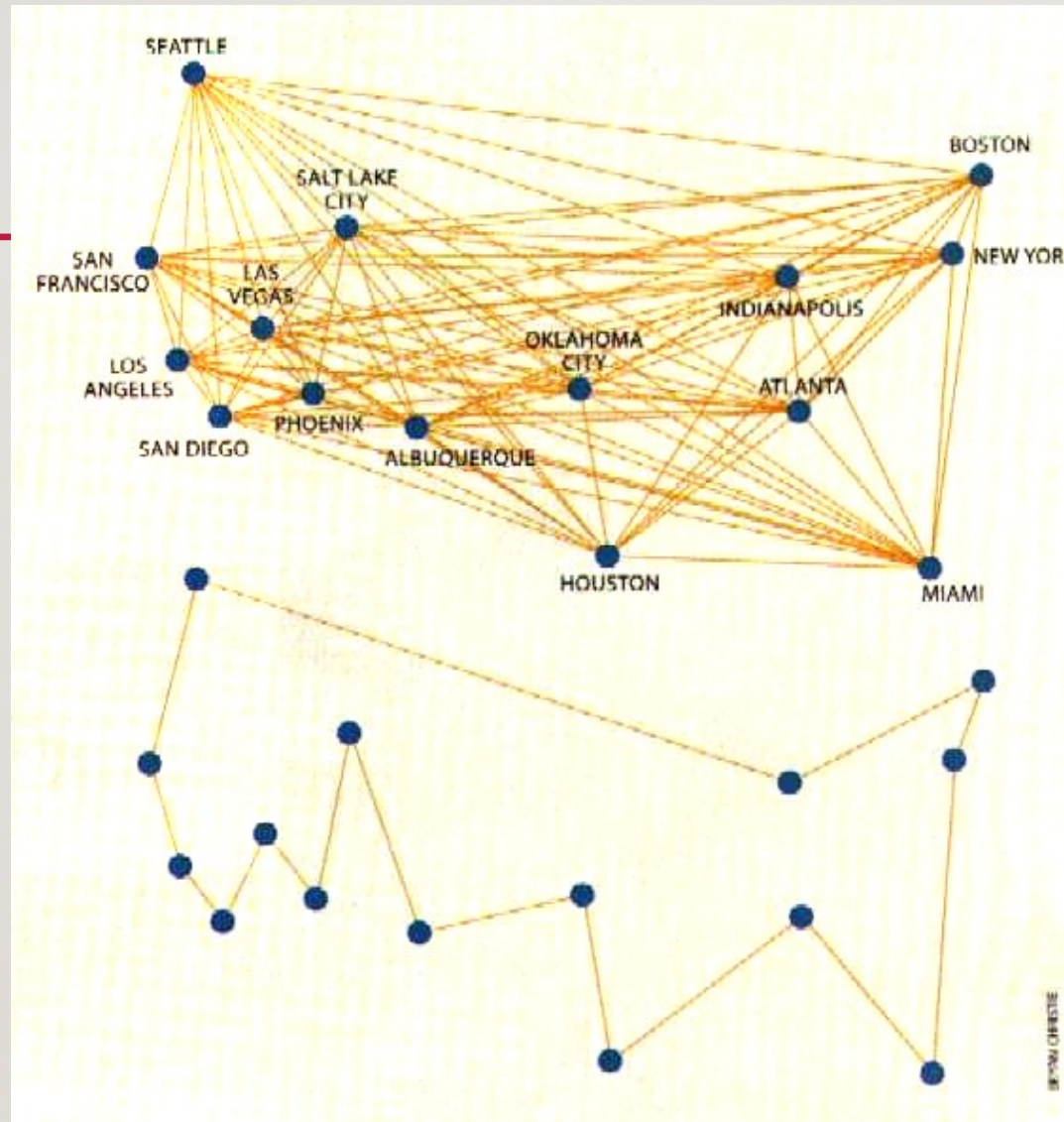
Se aplica, globalmente, una regla de actualización de la feromona global

Hasta Condición de término

M. Dorigo, L. M. Gambardella : <ftp://iridia.ulb.ac.be/pub/mdorigo/journals/IJ.16-TEC97.US.pdf>

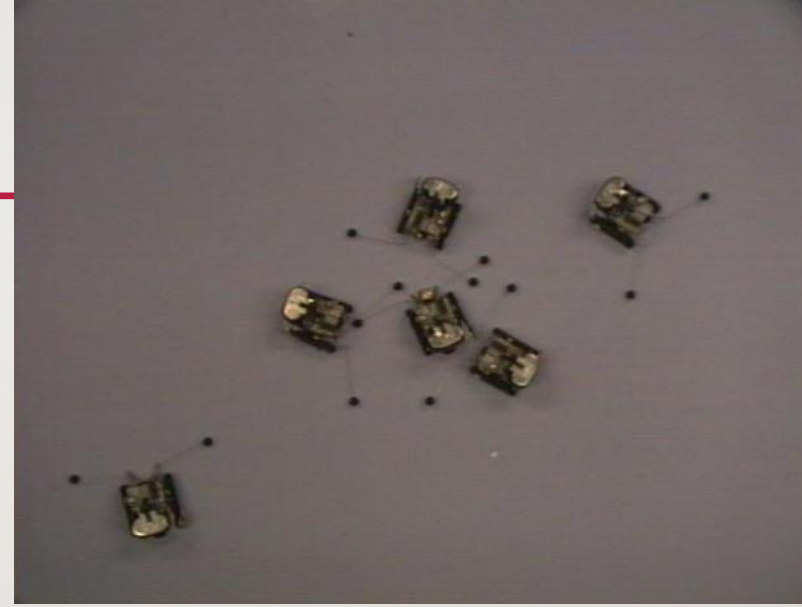
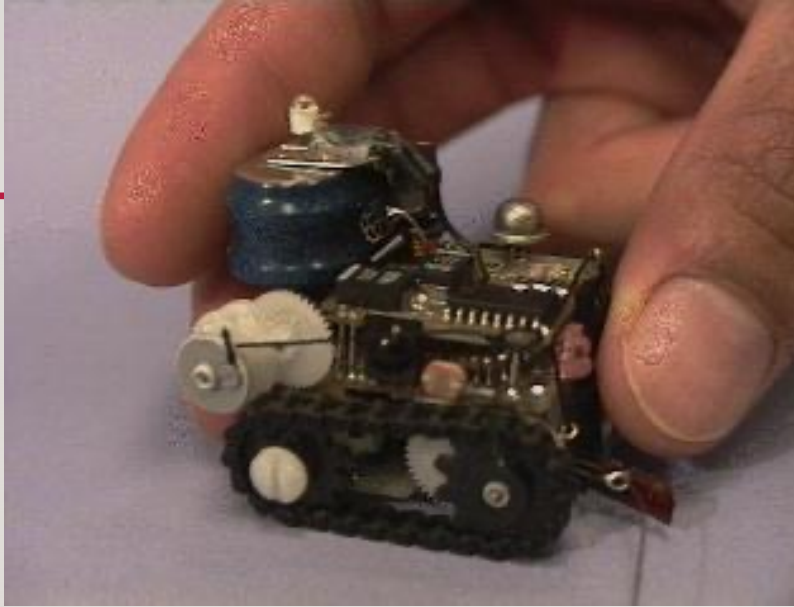
Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem

HORMIGAS VENDEDORAS VIAJERAS



**BIENVENIDOS AL MUNDO
REAL**

ROBOTS



- Realización de tareas colectivas
- No es necesario superponer algoritmos complejos
- Adaptables a ambientes cambiantes

REDES DE COMUNICACIONES

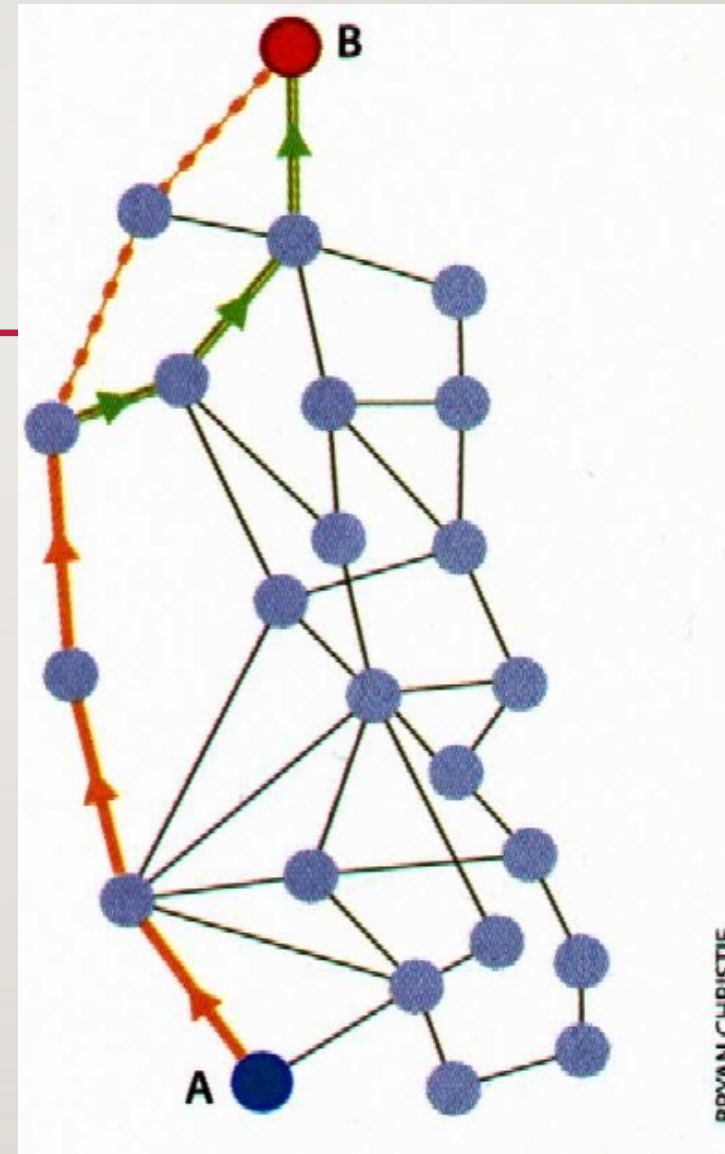
- Ruteamiento de paquetes a su destino en el tiempo más corto
- Similar al camino mínimo
- Se mantienen estadísticas sobre rutas previas (aprendizaje a partir de la experiencia)

- Ruta más corta

-
- Congestión

- Adaptabilidad

- Flexibilidad

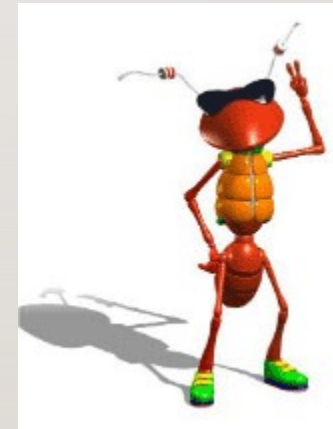


ALGORITMOS DE HORMIGAS



Algoritmos de hormigas

Un enfoque emergente



ALGORITMOS DE HORMIGAS

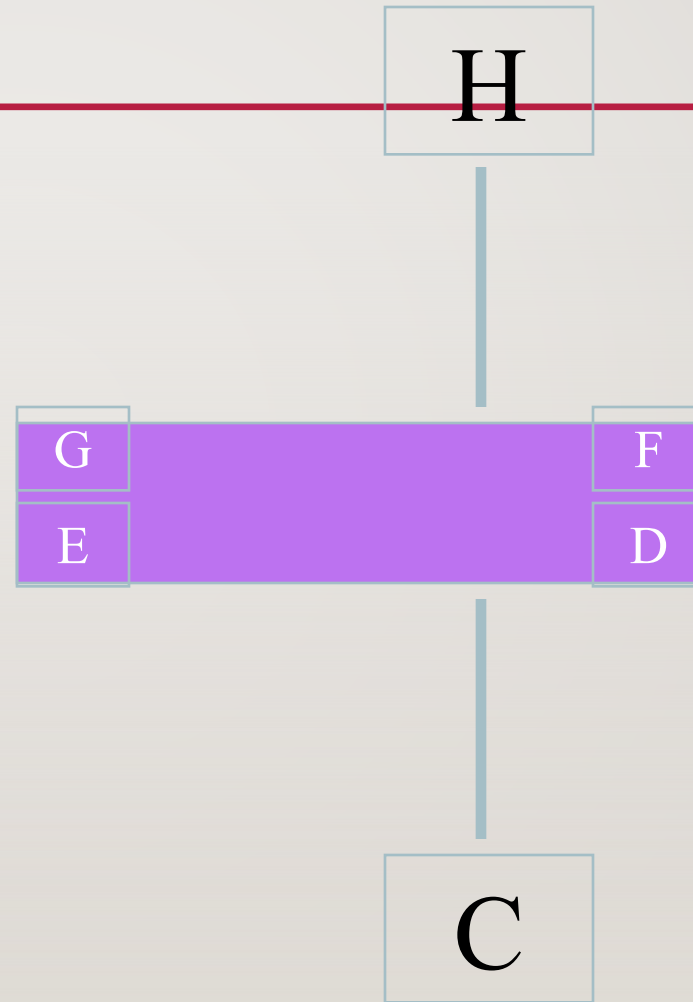
- Las hormigas son prácticamente ciegas, pero se las arreglan para encontrar los caminos a las fuentes de alimentación. ¿Cómo lo hacen?
- Estas observaciones inspiraron un nuevo tipo de algoritmos llamados *ant algorithms* (o ant systems).

ALGORITMOS DE HORMIGAS

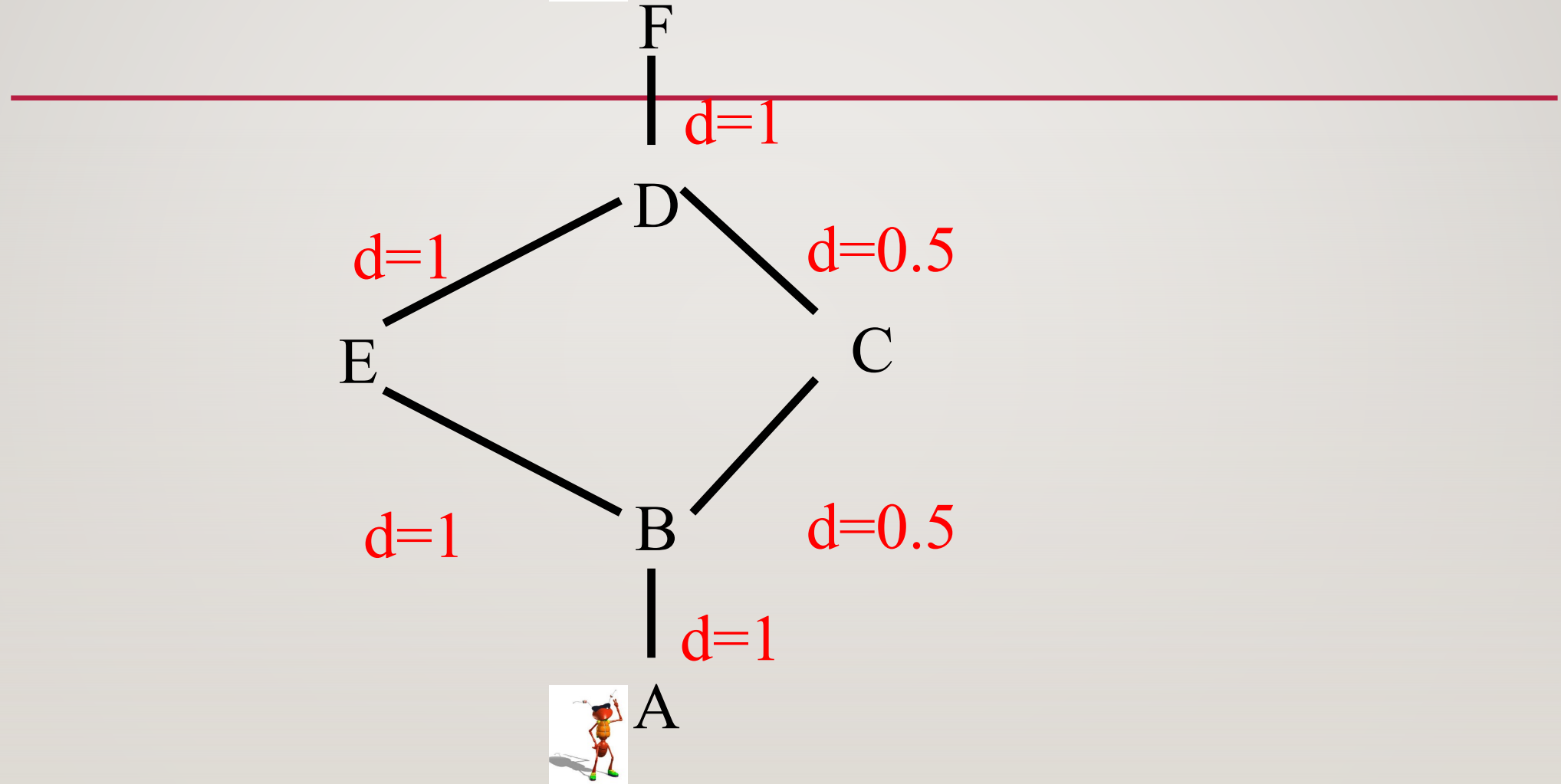
- Son una aproximación basada en una población. En ese sentido son similares a los AGs.
- Existe una población de hormigas, donde cada hormiga busca una solución y luego se comunica con las otras hormigas.

ALGORITMOS DE HORMIGAS

B
A



ALGORITMOS HORMIGAS



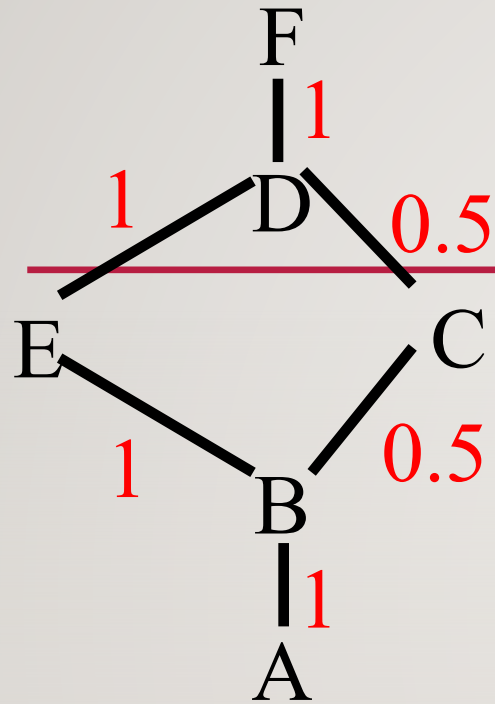
ALGORITMOS DE HORMIGAS

Tiempo, t , es discreto

En cada unidad de tiempo, una hormiga se mueve una distancia, d

Una vez que la hormiga se mueve, deposita en el camino una unidad de feromona.

En $t=0$, no hay feromona en los arcos



16 hormigas van desde A - F y
otras 16 se mueven desde F - A

En $t=1$ habrá 16 hormigas en
B y 16 hormigas en D.

En $t=2$ habrá 8 hormigas en D
y 8 hormigas en B. Habrá 16
hormigas en E y 16 en C

Las intensidades en los arcos
son:

$FD = 16$, $AB = 16$, $BE = 8$,
 $ED = 8$, $BC = 8$ y $CD = 8$

ALGORITMOS DE HORMIGAS

- Estamos interesados en explorar el espacio de búsqueda, no simplemente encontrar una ruta
- Debemos permitir que las hormigas exploren caminos y sigan los mejores caminos con alguna *probabilidad* proporcional a la intensidad del rastro de feromona
- No esperamos que sigan simplemente una ruta con la mayor cantidad de feromona, ya que llegaríamos a una ruta sub-óptima

ALGORITMOS DE HORMIGAS

- La probabilidad de que una hormiga siga cierta ruta es una función, no solamente de la intensidad de feromona sino también de una función que refleja lo que la hormiga ve (*visibilidad*)
- El rastro de feromona no es eterno..., se necesita un proceso de evaporación.

ALGORITMOS DE HORMIGAS Y EL TSP

- Al inicio del algoritmo se coloca una hormiga en cada ciudad
- Variaciones de esta estrategia fueron chequeadas por Dorigo

ALGORITMOS DE HORMIGAS Y EL TSP

- El tiempo, t , es discreto. $t(0)$ marca el inicio del algoritmo. En $t+1$ cada hormiga se habrá desplazado a una nueva ciudad
- Suponiendo que el TSP se representa por un grafo totalmente conexo, cada arco tiene una *intensidad del rastro*. Esto representa el rastro de feromona dejado por las hormigas
- Se denota por $T_{i,j}(t)$ a la intensidad del rastro de feromona en el arco (i,j) en el tiempo t

ALGORITMOS DE HORMIGAS Y EL TSP

- Cuando una hormiga “decide” a qué ciudad se moverá, lo hace en base a una probabilidad basada en la distancia a esa ciudad y la intensidad de feromona en el arco que las conecta
- La distancia a la próxima ciudad se conoce como la *visibilidad*, n_{ij} , y se define como $1/d_{ij}$, donde, d , es la distancia entre las ciudades i y j .

ALGORITMOS DE HORMIGAS Y EL TSP

- En cada unidad de tiempo se produce una *evaporación*
- La cantidad de evaporación, p , es un valor entre 0 y 1

ALGORITMOS DE HORMIGAS Y EL TSP

- Para evitar que las hormigas entren en loop, se utiliza una estructura de datos Tabú
- Esto evita que las hormigas vuelvan a pasar por ciudades que ya han visitado.
- $Tabu_k$ se define como la lista para la k -ésima hormiga y contiene todas las ciudades que ya han sido visitadas

ALGORITMOS DE HORMIGAS Y EL TSP

- Después de cada recorrido de una hormiga, se actualiza cada arco:

$$T_{ij}(t + n) = p \cdot T_{ij}(t) + \Delta T_{ij}$$

ALGORITMOS DE HORMIGAS Y EL TSP

-
- Travelling Salesman Problem (TSP)
 - Ruteamiento vehicular
 - Stock Cutting

ALGORITMOS DE HORMIGAS - APLICACIONES

-
- Marco Dorigo, mantiene una página web dedicada a este tema:

<http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/ACO/ACO.html>

- Contiene información sobre algoritmos y links a los artículos relevantes publicados sobre este tema.

PROXIMA SEMANA

- Swarm Intelligence
 - Abejas artificiales